

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**“ANÁLISIS DE DOS FASES FENOLÓGICAS DE ESPECIES DEL
MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO EN EL NORESTE DE MÉXICO
Y SU RELACIÓN CON LA FILOGENIA”**

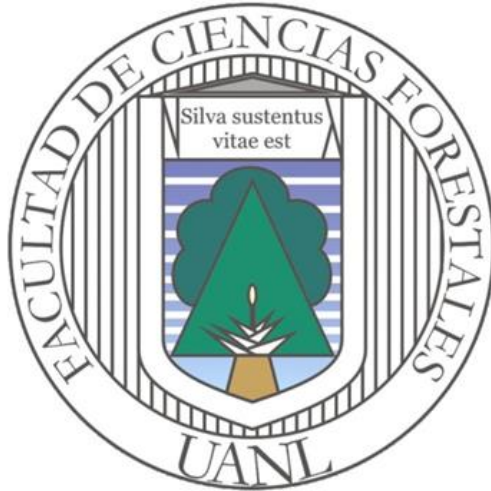
POR

ING. FLOR NASHIELLY ANDRÉS CAMARILLO

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

DICIEMBRE, 2019

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**



**“ANÁLISIS DE DOS FASES FENOLÓGICAS DE ESPECIES DEL
MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO EN EL NORESTE DE
MÉXICO Y SU RELACIÓN CON LA FILOGENIA”**

POR

ING. FLOR NASHIELLY ANDRÉS CAMARILLO

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO

DICIEMBRE, 2019

**"ANÁLISIS DE DOS FASES FENOLÓGICAS DE ESPECIES DEL MATORRAL
ESPINOSO TAMAULIPECO EN EL NORESTE DE MÉXICO Y SU RELACIÓN
CON LA FILOGENIA"**

Aprobación de Tesis



Dr. Enrique Jurado Ybarra
Director



Dr. Andrés Eduardo Estrada Castellón
Asesor



Dra. Marisela Pando Moreno
Asesor

Diciembre, 2019

*Al supremo creador
Mi más grande amor*

AGRADECIMIENTOS

Mis estudios de maestría y el trabajo de esta investigación pudieron realizarse gracias al apoyo recibido por diversas instituciones y numerosas personas.

Al proyecto de CONACYT-Ciencia Básica Germinación, facilitación y competencia entre plántula del noreste de México bajo cambio climático inducido y su relación con la filogenia (CB15-255453) por haberme otorgado el financiamiento que me ayudó para realizar esta investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por apoyarme a través de su programa de becas a realizar mis estudios de maestría.

A la Facultad de Ciencias Forestales, por brindarme todo el apoyo requerido durante el transcurso de mi maestría, una vez más confirmo que se ha convertido en mi segundo hogar y sin duda alguna, siempre la llevaré en mi corazón.

Al Dr. Enrique Jurado, mi director de tesis, por aceptarme una vez más como su tesista, por tan acertados comentarios y estirones de oreja que tan sutilmente hacía; por su paciencia, comprensión, apoyo y entusiasmo. Pero, sobre todo, por depositar en mí su tiempo, confianza y alentarme a ver más allá al realizar esta investigación.

A la Dra. Marisela Pando, por enseñarme a no rendirme, por la confianza y el cariño que depositó en mí durante este tiempo, así como por sus comentarios que enriquecieron ampliamente este estudio.

Al Dr. Eduardo Estrada, quien con su alegre y positivo estado de ánimo me inspiraba a dar lo mejor de mí para superarme día con día, gracias por el cariño depositado y las recomendaciones aportadas a este trabajo.

A mis padres agradezco los valores que me inculcaron desde pequeña, los consejos y las palabras de ánimo que me brindaron durante estos años. Sin su apoyo no podría estar aquí. Gracias por tanto sacrificio y amor, siempre los llevo en mi corazón.

A Jafet, gracias por acompañarme hasta culminar este proceso, por la paciencia al escuchar mis comentarios y dudas. Por entenderme cuando ni siquiera yo lo hacía. Gracias por tanto amor, por estar siempre conmigo y para mí.

A mi hermana Hadassa, quien a pesar de no estar junto a mí me ayudó a seguir con una actitud positiva y a no rendirme. Gracias por inspirarme a ser mejor, por ser mi motivación para superarme, por seguir alegrando mis días y por brindarme tanta confianza y amor (Hacker).

A mis hermanos, Daniel y Sam, por impulsarme a seguir luchando, por tan gratos momentos vividos en este periodo y por brindarme todo su apoyo y amor.

A Esme, quien me brindó su compañía durante este tiempo, por compartir tan gratos momentos y por brindarme su apoyo incondicional. Gracias por la gran amistad que ha depositado en mí. Todos los recuerdos vividos los llevo en mi corazón.

A Juanito, quien se ha convertido en un gran amigo, depositando una amistad que llevaré siempre conmigo, gracias por todo el apoyo que me brindó durante estos años.

A todas aquellas personas que de alguna u otra manera formaron parte de este proceso en mi vida, y que, con su apoyo, consejos, palabras de ánimo y entusiasmo, ayudaron a que se llevara a cabo.

Linares, Nuevo León, México.

Diciembre 2019

Declaro que la presente investigación es original y se desarrolló para obtener el título de Maestría en Ciencias Forestales en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, donde se utiliza información de otros autores a los cuales se les otorgan los créditos correspondientes.



Ing. Flor Nashielly Andrés Camarillo

ÍNDICE

I.	Introducción	1
II.	Antecedentes	3
	II.1 Fenología.....	3
	II.1.1 Historia y conceptos	3
	II.1.2 Estudios fenológicos	4
	II.2 Matorral Espinoso Tamaulipeco	6
	II.3 Filogenia	7
	II.4 Distribución de las especies	8
III.	Justificación	9
IV.	Hipótesis	10
V.	Objetivo del trabajo	10
	V.1 Objetivos específicos	10
VI.	Material y métodos	11
	VI.1 Localización	11
	VI.2 Material y equipo.....	11
	VI.2.1 Especies	11
	VI.3 Metodología	12
	VI.3.1 Selección de individuos	12
	VI.3.2 Evaluación de la vegetación	13
	VI.3.4 Filogenia	13
	VI.3.5 Análisis estadístico	13
VII.	Resultados	14
VIII.	Discusión	20
IX.	Conclusiones	21
X.	BIBLIOGRAFÍA:	22

Apéndice I	27
Descripción de las especies de flora registradas en el área de estudio	27
Apéndice II.	34
Filogenia de las especies de estudio	34

Resumen

En el presente trabajo se realizó un análisis de dos fases fenológicas (floración y fructificación), de especies del Matorral Espinoso Tamaulipeco, en el Noreste de México, en Linares N.L. El estudio fue llevado a cabo en el campus de la Facultad de Ciencias Forestales, de la UANL. Se trabajó con una base de datos de enero del 2004 a mayo del 2018, en donde se registraron datos porcentuales de las fases fenológicas, con la finalidad de probar dos hipótesis: Las floraciones y fructificaciones tienen una tendencia a iniciar antes en años recientes; y la amplitud de distribución, el origen de las especies y las veces en que floreal por año tendrán relación con los patrones fenológicos. Se obtuvo un promedio mensual del porcentaje de las fases estudiadas y se estimaron las fechas tardías y/o adelantadas de las subfases de estudio. Cuatro especies (*Vachellia berlandieri*, *V. rigidula*, *Celtis pallida* y *Prosopis laevigata*) han retrasado la producción de flores ($P < 0.05$). Tres especies (*Forestiera angustifolia*, *Leucaena leucocephala* y *Citharexylum berlandieri*) en años recientes han retrasado la fecha de producción de frutos. Ambos resultados son contrarios a la primera hipótesis planteada. Por otra parte, *Vachellia berlandieri* y *Prosopis laevigata* (dos de las cuatro especies que presentaron un retraso en la producción de flores), cuentan con una distribución N-S amplia en km y floreal dos veces por año. Mientras que *Citharexylum berlandieri* y *Forestiera angustifolia* (dos de las tres especies que han atrasado la fase de fructificación), cuentan con un rango de altitud (msnm) menor en comparación con las demás especies. La distribución, el rango de altitud y las veces en que floreal por año las especies vegetales tienen un papel importante en los patrones fenológicos de las mismas. Es necesario realizar estudios fenológicos que abarquen periodos más largos y que involucren a otras variables para entender mejor los patrones fenológicos y las variaciones ambientales.

Abstract

In this work, it will be made an analysis of two phenological stages (flowering and fruiting), of the Tamaulipan Thornscrub (TT) vegetation type, in northeastern Mexico, in Linares N. L. The study was done on the campus of the Facultad de Ciencias Forestales, from the UANL. An analysis using the existing database from January 2004 to May 2018, will be carried out, where percentage data from the phenological phases were recorded, to prove two hypothesis: the flowering and fruiting time have a tendency to start before on recent years; and the distribution, the species origin and the times it is flowering for year its will have a relation with the phenological patterns. A monthly average of the percentage of the phases studied was obtained. Late and/or advanced dates per year of the study subphases were estimated. In recent years in flowering, four species (different to previous ones), showed significant delay ($P < 0.05$); *Vachellia berlandieri*, *V. rigidula*, *Celtis pallida* y *Prosopis laevigata* they also delayed the date in this phenological subphase, so flower production occurs after the average date. Three species showed a significant delay in fruiting time ($P < 0.05$), *Forestiera angustifolia*, *Leucaena leucocephala* y *Citharexylum berlandieri*. Both results are contrary to the first hypothesis. Moreover, *Vachellia berlandieri* and *Prosopis laevigata* (two of the four species that had a delay in flowering production), had a wide distribution in km. *Citharexylum berlandieri* and *Forestiera angustifolia* (two of the three species that had delay in fruiting time), had an altitude range (msnm) lowest than the another species. The distribution, the altitude range and the times it is flowering for year the species have an important role on the phenological patterns. It is necessary to carry out phenological studies that cover longer periods and that involve other variables for understand better the phenological patterns and the environmental variation.

I. Introducción

El término fenología, usado por primera vez en 1853 por Charles Morren (Hopp, 1974), se deriva de los vocablos griegos “*phaino*” (aparecer o mostrar) y “*logos*” (estudio o tratado).

Krebs (1895) y García (2006), la definen como la ciencia que estudia los fenómenos biológicos y periódicos (estacionales) de la vida animal y vegetal acomodados a ritmos estacionales y que tienen relación con el clima y el curso anual del tiempo atmosférico. Sin embargo, se ha demostrado que la periodicidad de los eventos fenológicos no siempre está relacionada con el clima, sino también con las interacciones bióticas (Stiles 1977, Aide 1992), factores endógenos (Van Schaik *et al.*, 1993, Loubry 1994) y las relaciones filogenéticas (Wright & Calderón 1995, Harvey & Pagel 1995, Friedel *et al.* 1994). Gracias a su considerable potencial en la investigación sobre cambio global, esta ciencia ha emergido recientemente como un importante enfoque de la investigación ecológica (Schwartz, 1999); sin embargo, en México, los estudios científicos formales de fenología de plantas de zonas áridas son relativamente nuevos (Challenger, 1998).

Muchos fenómenos biológicos como los cambios particulares en los patrones de la fenología o distribución de las especies se han relacionado con los cambios temporales en la temperatura media y otras variables, por lo que durante varios años han sido considerados indicadores sensibles del cambio climático, pues dependen, en parte, de los patrones meteorológicos (Bertin, 2008).

Aún y que los factores ambientales afectan el ciclo de desarrollo de las especies, algunos autores han afirmado que la sucesión de los eventos fenológicos no está controlada específicamente por uno de éstos (Monasterio y Sarmiento, 1976; Borchert, 1992), sin embargo, Thomas *et al.*, (2004) mencionan que la sobrevivencia de las especies está altamente ligada con los cambios ambientales.

March Y Fitze (2019) proporcionan evidencia relevante de la capacidad de supervivencia de algunas especies bajo las alteraciones ambientales actuales y

futuras a corto plazo. Los efectos en las etapas de desarrollo podrían desencadenar cambios en el rendimiento durante las etapas subsiguientes de desarrollo (Jonsson y Jonsson, 2014), en la forma física (Cam *et al.*, 2003), e incluso en el éxito de las generaciones futuras (Walck *et al.*, 2011; Burton y Metcalfe, 2014). Por lo tanto, es importante identificar cuándo las plantas se ven más afectadas por las alteraciones del clima y si existe una relación entre el efecto diferencial en las etapas de la vida y el éxito futuro de las plantas.

Estudios científicos en diferentes regiones del mundo muestran un cambio de tiempo en la presencia de las estaciones. Algunos metaanálisis globales documentaron cambios significativos en los eventos de primavera, los cuales avanzaron 2.3 días por década (Parmesan y Yohe, 2003). Si el tiempo en que ocurren las estaciones está cambiado, por ende, el ciclo de desarrollo de las especies vegetales también presentaría este patrón, sin embargo, no todas las especies responden igual a estos cambios.

El estudiar la fenología de las especies vegetales permite entender mejor esta situación, ya que esta ciencia es el aspecto más receptivo de la naturaleza al calentamiento y el más simple a observar (Sparks y Menzel 2002).

Existen investigaciones que muestran que, si han ocurrido cambios en las etapas fenológicas de algunas especies, por lo que ampliar investigaciones fenológicas en el matorral espinoso tamaulipeco permitiría a conocer los cambios fenológicos existentes en los individuos y entender más a fondo el desarrollo de estos, brindando información indispensable para el conocimiento del ciclo de vida de las especies vegetales.

Este estudio plantea que en años recientes la floración y fructificación de 21 especies de matorral espinoso tamaulipeco se han adelantado como resultado de cambios de temperatura asociados a calentamiento global. Además, se explora si variables independientes tienen relación con los patrones de fenología semejantes.

II. Antecedentes

II.1 Fenología

II.1.1 Historia y conceptos

La fenología tiene diversas definiciones según el (los) autor (es). Lieth, 1974, le atribuye formalmente el concepto de estudio de la secuencia temporal de eventos biológicos recurrentes, con la finalidad de interpretar las causas bióticas y abióticas de tales secuencias (Montenegro y Ginocchio, 1999); Krebs (1985) menciona que es la ciencia que estudia los fenómenos biológicos y periódicos (estacionales) de la vida animal y vegetal acomodados a ritmos estacionales y que tienen relación con el clima y el curso anual del tiempo atmosférico; Bello (1993) la definió como la descripción de las fases del crecimiento y desarrollo de plantas y animales en su ocurrencia a través de su ciclo de vida; Bradley *et al.*, (1999) comenta que es una lectura del pulso de la vida. Sin embargo, se ha demostrado que la periodicidad de los eventos fenológicos no siempre está relacionada con el clima, sino también con las interacciones bióticas (Stiles, 1977; Aide, 1992), factores endógenos (Van Schaik *et al.*, 1993; Loubry, 1994) y las relaciones filogenéticas (Wright & Calderón 1995; Harvey & Pagel, 1995; Friedel *et al.*, 1994). Por lo tanto, se puede definir a la fenología como la ciencia que estudia los fenómenos biológicos y periódicos (estacionales) de la vida animal y vegetal acomodados a ritmos estacionales y que tienen relación con el clima, el curso anual del tiempo atmosférico, las interacciones bióticas, los factores endógenos y las relaciones filogenéticas.

Se estima que los primeros registros fenológicos aparecieron hace aproximadamente 1,000 años en China y Roma, en donde las observaciones y calendarios fenológicos fueron usados en la agricultura (Bello, 1983).

Desde tiempos antiguos se ha tenido la tradición de estudiar eventos naturales recurrentes, por ejemplo, se cuenta con registros desde el siglo IX en Japón que aluden a la floración de los cerezos. En Europa, para el año 1736 se tienen los datos más antiguos tomados por Robert Marsham, quien comenzó a registrar las fechas en que brotaban y florecían diversas especies vegetales en sus tierras.

Esta afición y costumbre se fue dejando a sus generaciones futuras dando un increíble registro de 211 años (Sparks y Carey, 1995).

Para el año 1751, los métodos de colecta de información fenológica fueron establecidos por el botánico sueco Linnaeus, en donde mostraba la correcta ordenación de las observaciones anuales citando las diferentes épocas de desarrollo de las especies vegetales, tales como brote vegetativo, floración, fructificación y caída de hojas. Sin embargo, se conoce como padre de la fenología al botánico belga Charles Morren, quien a mitad del siglo XIX propuso su término como tal.

Ya que los datos fenológicos son de gran importancia para entender los procesos de interacción entre la atmósfera y la biosfera, sobre todo dedicados a los estudios de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad, en países como España desde el año 1942, el Servicio Meteorológico Nacional puso en marcha la observación fenológica mediante la red de colaboradores y un método normalizado de recogida de información (Victoria *et al.*, 2010), la cual ha sido tomada durante décadas por los colaboradores de la AEMET en varias estaciones distribuidas en la Región de Murcia.

Thornthwaite, en 1952, elaboró un calendario fenológico de los análisis detallados sobre la evaluación del desarrollo de aspectos fisiológicos en ciertas especies, esto se denominó “fenometría” por Kaempfert (1948) y Morgen (1949), en su modificación de los estudios fenológicos.

Después de todo un proceso fue en el siglo XVIII en donde se publicó la primera metodología para llevar a cabo observaciones fenológicas, por Linneo, estos métodos son los mismos que se siguen usando hoy día en algunos estudios fenológicos (Gordo y Sanz, 2005).

II.1.2 Estudios fenológicos

Los estudios de la fenología vegetal son de gran importancia para el análisis y manejo de sistemas ecológicos (Alvarado, 2003), además de poseer gran trascendencia tanto para el entendimiento de la dinámica de los ecosistemas como de los procesos evolutivos en las regiones (Rathcke & Lacey 1985, Van Schaik *et al.*, 1993); lamentablemente pocos estudios han examinado el

significado funcional de las posibles interrelaciones de las fenofases (Van Schaik *et al.*, 1993).

Las plantas son organismos sumamente integrados cuyos escasos órganos repetidos modularmente realizan diversas funciones que están bien coordinadas con el funcionamiento de las demás partes de la planta (Harper, 1977). Ello sugiere que las fenofases deben producirse en el curso del año en cada individuo con perfecta coordinación entre ellas y que el patrón fenológico debe estar suficientemente adaptado a las condiciones ambientales para asegurar la supervivencia de la planta.

Se cuentan ya con estudios fenológicos, durante las últimas décadas se ha producido un adelanto significativo de las fechas de brotación e inicio de otras fenofases en algunas especies de árboles y arbustos europeos, así como un retraso menos evidente de los eventos otoñales (Menzel, 2000; Peñuelas *et al.*, 2002). En Washington, D.C., en los años de 1970 a 1999 se realizó un estudio extenso sobre la floración de 100 especies vegetales, se encontró que 89 de ellas tuvieron un avance en esta etapa fenológica, de las cuales 76 mostraron resultados significativos (el mayor avance fue de 46 días). Por otro lado, en Inglaterra, encontraron que de 365 especies observadas el 16% mostraron un avance significativo en la fase de floración (Fitter y Fitter, 2002); mientras que, en Europa Central, de las 60 regresiones del tiempo de fenofase, 11 mostraron avances significativos y 2 mostraron retrasos significativos (Roetzer *et al.*, 2000). En Europa central y occidental se llevó a cabo una investigación sobre la floración de *Corylus avellana* y *Tussilago fárfara*, mostrando como resultado que esta fase fenológica, que ocurre en primavera, presentó un adelanto de 10 a 20 días en comparación con un adelanto de 5 a 15 días para las fenofases posteriores de la primavera de *Syringa*, *Malus*, *Tilia* y *Betula* (Ahas *et al.*, 2002).

Sparks *et al.*, (2000) expresa que la mayoría de los registros de primavera muestran avances de 1 a 8 d, pero varían desde un retraso de 4 d para la floración de *Colchicum autumnale* hasta un avance de 10 d para la de *Convolvulus sepium*. Similar a esto nos muestra Menzel (2000), quien concluye que, entre las 751 series fenológicas de primavera registradas en los Jardines Fenológicos

Internacionales de Europa, el 22% muestra avances significativos y el 5% muestra retrasos significativos. Por lo que no sólo se espera que las especies muestren un adelanto en sus fases fenológicas, sino también un retraso en las mismas.

II.2 Matorral Espinoso Tamaulipeco

El matorral espinoso tamaulipeco se distribuye en el noreste de México y sur de Texas (EE.UU), de la Llera de Canales y los límites sureños de la Sierra azul en Tamaulipas (González, 1985) al altiplano Edwards en Texas (Diamond *et al.*, 1987) y de las faldas de la Sierra Madre Oriental hasta la costa del Golfo de México (Jurado y Reid, 1989), contando con una superficie de 200,000 km² (Foroughbakhch *et al.*, 2005, 2009). Este ecosistema posee una alta riqueza específica y diversidad de especies arbóreas y arbustivas (Heiseke y Foroughbakhch, 1985; Alanís *et al.*, 2008; Jiménez *et al.*, 2013; Mora *et al.*, 2013). Predominan las asociaciones caracterizadas por estratos arbustivos altos o medianos y arbóreos altos, siendo más comunes las especies espinosas con hojas compuestas. Entre las especies principales se citan: *Pithecellobium pallens*, *Acacia rigidula*, *Pithecellobium flexicaule*, *Celtis pallida*, *Cordia boissieri*, *Leucophyllum frutescens*, *Forestiera angustifolia* y *Acacia spp.* (Hernández y Ybarra, 2008).

En el MET se han realizado diversos estudios científicos relacionados a la fenología de las especies, Cantú y Reid (1991) fueron unos de los primeros en aportar información fenológica de 58 especies de este tipo de vegetación en Linares, N.L.; Arreola (1991), estudió la fenología de *Condalia hookeri* (Brasil); Alvarado (2003), realizó un estudio fenológico y aspectos reproductivos en especies del matorral xerófilo del noreste de México.

Las plantas nativas del matorral han desarrollado diversas características morfológicas y fisiológicas apropiadas para la adaptación a factores ambientales adversos (Kramer, 1996; Kozlowski y Pallardy, 1997), Adriano y Adrián (2011), realizaron una investigación sobre la floración de *Cordia boissieri* (Anacahuita) en el Noreste de México, en donde encontraron una correlación positiva con la variable ambiental precipitación.

II.3 Filogenia

La teoría de Darwin concluye que todos procedemos del mismo origen, que poseemos la misma genética y que existe una rama de parentesco entre todos. De ser así, ¿cuál es la especie más cercana a nosotros o entre las especies que existen actualmente?

La palabra filogenia proviene de las palabras griegas: “phylon” (tribu o etnicidad) y “gen” (producir o generar). Es catalogada como una rama de la biología que se encarga de estudiar el origen y el desarrollo de las especies de una forma general, así como la profundidad de las relaciones de evolución entre las diferentes especies y organismos tratando de establecer diferentes líneas muy similares a los árboles genealógicos en los cuales se muestra la descendencia y el grado de parentesco entre unos y otros. El diccionario la define en el contexto de la biología para aludir al origen y la evolución de las especies centrándose en los vínculos de parentesco que existen entre los diversos conjuntos de seres vivos. Ruano y Tinaut (2002), mencionan que es una parte de la biología que estudia las relaciones de afinidad y parentesco de animales y plantas, tratando de dilucidar, en lo posible, el origen y la historia evolutiva de los taxones.

El concepto se hizo con la finalidad de estudiar las relaciones evolutivas, analizando cómo se distribuyen los caracteres de los diversos taxones. Es ahí donde surgen los árboles filogenéticos, en donde se muestra de manera detallada las relaciones evolutivas que tienen las especies. Para lograr todo esto es necesario estudiar el ADN, la morfología y la anatomía (por mencionar algunas) de los individuos

El primero en calificar a los organismos basándose en características físicas obvias de los organismos fue Linneo. Básicamente, los organismos se agrupaban si se parecían. Después que Darwin publicó su teoría de la evolución en los años 1800, los científicos buscaron una manera de clasificar los organismos que mostraban filogenia.

El biólogo Ernst Haeckel fue el primer científico que utilizó la palabra en el año 1866, y la teoría llegó para afirmar las diferentes teorías que ya habían sido propuestas por los biólogos Charles Darwin y Alfred Russel Wallace, ambos

científicos creían y afirmaban que los seres vivos no se mantenían inmutables, sino que presentan diferentes tipos de evolución a lo largo del tiempo.

Los métodos de reconstrucción filogenética más habituales asumen que todas las secuencias o especies provienen de partir un ancestro común mediante bifurcaciones. Los métodos filogenéticos nos permiten reconstruir el árbol que representa la historia evolutiva de las especies a partir de las evidencias experimentales de las que dispongamos. Algunos tipos de evidencias que pueden ser utilizados son los datos morfológicos, el genotipo o las secuencias de ADN o de proteínas.

II.4 Distribución de las especies

Al hablar de área de distribución nos referimos al área que es habitada por una especie o la superficie que encierra el conjunto de localidades donde las poblaciones de una especie han sido observadas y registradas. Dependiendo de su historia y de sus capacidades de dispersión las especies pueden ocupar grandes extensiones de territorio o estar restringidas a pequeñas regiones. Las actividades humanas constantemente modifican las áreas de distribución de las especies, creando y destruyendo hábitats, estableciendo barreras, corredores y transportando accidental o voluntariamente a las especies a nuevos lugares. En los ecosistemas existen limitantes para que las especies puedan vivir en ellos. Estas áreas de distribución pueden o no ser permanentes, pues los ecosistemas cambian y con ello la distribución de las especies, con esto la misma puede aumentar o disminuir según las capacidades de la especie de adaptación a las nuevas características del ecosistema.

III. Justificación

Los estudios enfocados en la fenología brindan información de gran utilidad, pues son algunos de los datos más sensibles en la identificación de cómo las especies vegetales responden a condiciones climáticas regionales y a los cambios climáticos. Gracias a ellas podemos realizar estudios fenológicos de las especies vegetales, además, son una herramienta para el análisis y manejo de los sistemas ecológicos, brindando información para el desarrollo de programas de manejo, recuperación de pastizales y para explicar la adaptación de las especies al ambiente (Fresnillo-Fedorenko *et al.*, 1996). Por otra parte, se pueden obtener estimaciones de la distribución de una especie con base en su habilidad para mantener su éxito reproductivo en hábitats con condiciones contrastantes (Marco *et al.*, 2000); ayuda a la determinación de épocas de reproducción, los ciclos de crecimiento vegetativo para ordenar y gestionar comunidades vegetales, planificar la realización de incendios prescritos, conservar comunidades naturales, facilitar el manejo de especies de interés forestal, además de adquirir un conocimiento más profundo de las relaciones que existen entre la fenología y las características funcionales de las plantas, para conservación de especies y comunidades vegetales amenazadas, entre otros. Es por ello por lo que es necesario realizar estudios fenológicos que abarquen periodos más largos y que involucren un conjunto de variables.

IV. Hipótesis

- Las floraciones tienen una tendencia a iniciar antes en años recientes.
- Los frutos maduros tienen una tendencia a iniciar antes en años recientes.
- La amplitud de distribución, el origen de las especies y el rango de distribución tendrán relación con los patrones fenológicos.

V. Objetivo del trabajo

Suplir la carencia de investigación a nivel local con información fenológica sobre 21 especies del MET a través del análisis de sus patrones fenológicos y su filogenia, resaltando el potencial de los estudios fenológicos.

V.1 Objetivos específicos

- Estimar la variación en las fechas de producción de frutos en los últimos 14 años.
- Estimar la variación en las fechas de producción de flores en los últimos 14 años.
- Realizar una clasificación de las especies de estudio en base a la amplitud de distribución, el origen de las especies, el rango de altitud y las veces en que florecen al año para posteriormente comparar los resultados con los patrones fenológicos obtenidos.

VI. Material y métodos

VI.1 Localización

El área de estudio se encuentra dentro del campus de la Facultad de Ciencias Forestales, de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ubicada en Linares, N.L. La zona se encuentra en las coordenadas geográficas 24°46'43" N, 99°31'39" W (Alanís *et al.*, 1996), quedando dentro de la vegetación de Matorral Espinoso Tamaulipeco.

El clima se caracteriza por contar con una temperatura media de 14°C en enero a 22°C en agosto. La precipitación anual promedio es de 805 mm, y presenta una altitud de 370 msnm. (SPP e INEGI, 1986; Alanís *et al.*, 2008).



VI.2 Material y equipo

VI.2.1 Especies

Para el estudio fenológico se eligieron 21 especies representativas del matorral espinoso tamaulipeco, dichas especies pertenecen a 11 familias diferentes, siendo Fabaceae la que posee la mayor cantidad (11), seguida de Rutaceae (2),

y el resto cuenta con solo una especie por familia. Las especies se muestran en la tabla 1.

N°	Especie	Familia	Nombre común
1	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Fabaceae	Dormilón
2	<i>Vachellia schaffneri</i> (S. Watson) F.J. Herm.	Fabaceae	Huizache Chino
3	<i>Cercidium macrum</i> I.M. Johnst	Fabaceae	Palo Verde
4	<i>Ebenopsis ebano</i> (Berland.) Barneby & J.W. Grimes	Fabaceae	Ébano
5	<i>Caesalpinia mexicana</i> A.Gray	Fabaceae	Potro
6	<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	Fabaceae	Huizache
7	<i>Prosopis laevigata</i> (Willd.) M.C. Johnst.	Fabaceae	Mezquite
8	<i>Acacia berlandieri</i> Benth	Fabaceae	Guajillo
9	<i>Vachellia rigidula</i> (Benth.) Seigler & Ebinger	Fabaceae	Chaparro Prieto
10	<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose	Fabaceae	Tenaza
11	<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	Rutaceae	Colima
12	<i>Helietta parvifolia</i> (A. Gray) Benth	Rutaceae	Barreta
13	<i>Citharexylum berlandieri</i> S. Watson	Verbenaceae	Árbol del pollo
14	<i>Bumelia celastrina</i> Kunth	Sapotaceae	Coma
15	<i>Condalia hookeri</i> M.C. Johnst.	Rhamnaceae	Brasil
16	<i>Melia azedarach</i> L.	Meliaceae	Canelón
17	<i>Leucophyllum frutescens</i> (Berland.) I.M. Johnst.	Scrophulariaceae	Cenizo
18	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Cannabaceae	Granjeno
19	<i>Forestiera angustifolia</i> Torr.	Oleaceae	Panalero
20	<i>Cordia boissieri</i> A.DC.	Boraginaceae	Anacahuita
21	<i>Diospyros palmeri</i> Eastw.	Ebanaceae	Chapote Blanco

Tabla 1. Listado de las 21 especies de estudio.

VI.3 Metodología

VI.3.1 Selección de individuos

Se eligieron 5 individuos de cada especie, estableciéndose así las áreas de observación fenológicas, tales como: individuos adultos, sanos, que no presentaran algún daño o enfermedad aparente, de tamaño promedio y que no se vieran afectados por la actividad humana (Alvarado, 2003).

VI.3.2 Evaluación de la vegetación

Se cuenta con una base de datos de 14 años con información cuantitativa (porcentajes), de tres etapas fenológicas (foliación, floración y fructificación), de 21 especies del matorral espinoso tamaulipeco. Cada quince días se realizaron recorridos para la toma de datos, los cuales han sido tomados durante el periodo de junio 2003 a mayo del 2018 en el laboratorio de ecología de la Facultad de Ciencias Forestales, de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Para la toma de datos, se utilizó el método de evaluación visual y cuantitativa en términos porcentuales y se cubrió todo el periodo de manifestación de la fenofase, inicio, plenitud y declinación (Villasana y Suárez, 1997).

Las fenofases consideradas fueron:

- A) Floración: flores maduras.
- B) Fructificación: frutos listos para su dispersión.

VI.3.4 Filogenia

Para obtener los años de divergencia entre las especies de estudio se utilizó la base de datos “TimeTree”, creada por S. Blair Hedges y Sudhir Kumar (Kumar et al., 2017), trabajadores de la Universidad de Temple. Dicha base de conocimiento pública tiene la finalidad de obtener información sobre la escala de tiempo evolutiva de la vida y presentar los tiempos de divergencia en el árbol de la vida.

Los usuarios de TimeTree pueden obtener la media y la mediana de estimaciones de tiempo para su divergencia en millones de años, así como las estimaciones de tiempo individuales, de cada estudio, junto a una escala temporal geológica, indicando periodos geológicos.

VI.3.5 Análisis estadístico

Para la estimación de si los años presentan o no diferencias porcentuales durante el tiempo de estudio, se promedió por mes la subfase fenológica a evaluar. Para obtener la fecha tardía o de adelanto se realizaron gráficos de los meses en que había mayor producción de la fase fenológica estudiada. Se seleccionaron las fechas en que se inició por primera vez la subfase en cada año de estudio.

Posteriormente, se obtuvo la fecha promedio, la cual se representó en el eje “y” como un valor de 0. Además, se graficó la línea de incremento si la subfase fenológica se adelantara un día anualmente. Posteriormente, se realizó un análisis de Correlación Spearman.

Se realizó un Análisis multivariado, el cual tiene la finalidad de describir e interpretar datos observados generalmente de tres o más variables estadísticas, estudiadas en conjunto. La técnica multivariada que se utilizará es el Análisis Clúster con las siguientes variables: rango de distribución, rango de altitud, el lugar de origen de las especies y las veces en que florecen anualmente.

VII. Resultados

Vachellia berlandieri, *V. rigidula*, *Celtis pallida* y *Prosopis laevigata* produjeron flores en años recientes de manera más tardía, lo cual es contrario a la hipótesis planteada (Tabla 2).

Nº	Especie	Nombre común	R	(P<0.05)
1	<i>Cercidium macrum</i> I.M. Johnst	Palo Verde	0.015	0.958
2	<i>Vachellia schaffneri</i> (S. Watson) F.J. Herm.	Huizache Chino	0.134	0.730
3	<i>Caesalpinia mexicana</i> A.Gray	Potro	-0.130	0.659
4	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Dormilón	-0.214	0.610
5	<i>Ebenopsis ebano</i> (Berland.) Barneby & J.W. Grimes	Ébano	0.218	0.519
6	<i>Helietta parvifolia</i> (A. Gray) Benth	Barreta	-0.231	0.470
7	<i>Diospyros palmeri</i> Eastw.	Chapote Blanco	-0.357	0.385
8	<i>Citharexylum berlandieri</i> S. Watson	Árbol del pollo	0.357	0.385
9	<i>Condalia hookeri</i> M.C. Johnst.	Brasil	0.259	0.365
10	<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose	Tenaza	0.433	0.244
11	<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	Colima	0.363	0.203
12	<i>Cordia boissieri</i> A.DC.	Anacahuíta	0.389	0.152
13	<i>Bumelia celastrina</i> Kunth	Coma	-0.421	0.152
14	<i>Forestiera angustifolia</i> Torr.	Panalero	0.491	0.150
15	<i>Leucophyllum frutescens</i> (Berland.) I.M. Johnst.	Cenizo	0.416	0.139
16	<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	Huizache	0.503	0.138
17	<i>Melia azedarach</i> L.	Canelón	0.550	0.125

18	<i>Vachellia berlandieri</i> Benth	Guajillo	0.692	0.009
19	<i>Vachellia rigidula</i> (Benth.) Seigler & Ebinger	Chaparro Prieto	0.833	0.005
20	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Granjeno	0.736	0.004
21	<i>Prosopis laevigata</i> (Willd.) M.C. Johnst.	Mezquite	0.783	0.003

Tabla 2. Correlación. Resultados para la fase fenológica de floración

De las 21 especies evaluadas *Forestiera angustifolia*, *Leucaena leucocephala* y *Citharexylum berlandieri* en años más recientes han retrasado la fecha de producción de frutos contrario a la hipótesis planteada en esta investigación (Tabla 3).

N°	Especie	Nombre común	Valor	(P<0.05)
1	<i>Diospyros palmeri</i> Eastw.	Chapote Blanco	-0.506	0.065
2	<i>Cercidium macrum</i> I.M. Johnst	Palo Verde	-0.432	0.141
3	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Granjeno	0.407	0.149
4	<i>Vachellia rigidula</i> (Benth.) Seigler & Ebinger	Chaparro Prieto	0.433	0.224
5	<i>Condalia hookeri</i> M.C. Johnst.	Brasil	-0.229	0.229
6	<i>Cordia boissieri</i> A.DC.	Anacahuita	0.347	0.269
7	<i>Prosopis laevigata</i> (Willd.) M.C. Johnst.	Mezquite	-0.340	0.286
8	<i>Helietta parvifolia</i> (A. Gray) Benth	Barreta	0.287	0.319
9	<i>Bumelia celastrina</i> Kunth	Coma	0.261	0.338
10	<i>Ebenopsis ebano</i> (Berland.) Barneby & J.W. Grimes	Ébano	0.286	0.344
11	<i>Vachellia schaffneri</i> (S. Watson) F.J. Herm.	Huizache Chino	0.300	0.370
12	<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose	Tenaza	0.264	0.433
13	<i>Caesalpinia mexicana</i> A.Gray	Potro	-0.168	0.550
14	<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	Colima	0.200	0.580
15	<i>Vachellia berlandieri</i> Benth	Guajillo	-0.136	0.642
16	<i>Melia azedarach</i> L.	Canelón	0.121	0.681
17	<i>Leucophyllum frutescens</i> (Berland.) I.M. Johnst.	Cenizo	0.118	0.729
18	<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	Huizache	-0.067	0.837
19	<i>Forestiera angustifolia</i> Torr.	Panalero	0.770	0.009
20	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Dormilón	0.534	0.049
21	<i>Citharexylum berlandieri</i> S. Watson	Árbol del pollo	0.655	0.029

Tabla 3. Correlación. Resultados para la fase fenológica de fructificación

Esto indica que la ninguna de las especies estudiadas en los últimos 14 años, está adelantando su floración ni su fructificación.

ANÁLISIS MULTIVARIADO

Análisis de conglomerado

De acuerdo con la clasificación obtenida con las especies y las variables independientes, se forman dos grupos principales (A y B). Tanto el grupo A, como el B, se dividen en 2 subgrupos.

Zanthoxylum fagara y *Prosopis laevigata* (grupo A), son individuos que presentan una distancia euclidiana cercana. Esto indica que el origen, el rango de altitud y el rango de distribución N-S y E-O son similares en estas especies. Lo mismo sucede con *Vachellia shaffneri*, *V. berlandieri*, *V. rigidula* y *Citharexylum berlandieri* (Figura 1).

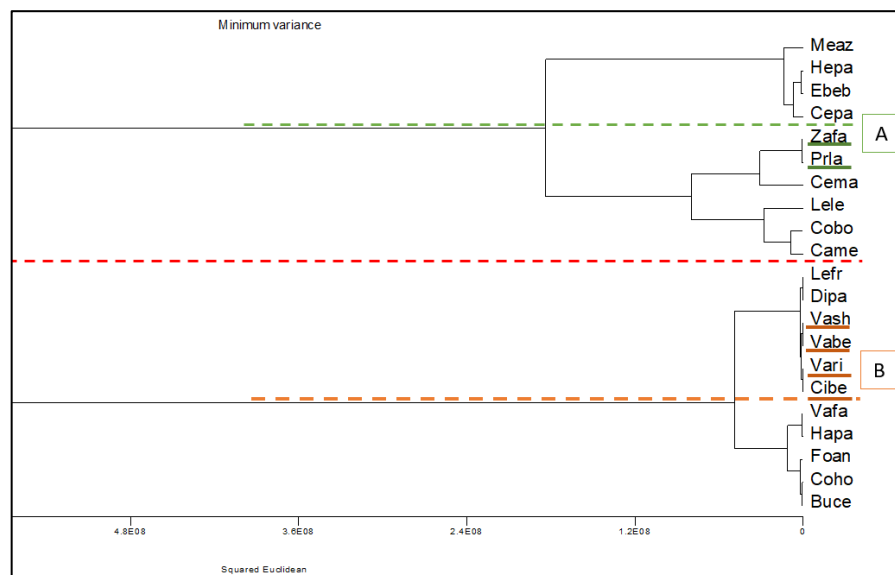


Figura 1. Dendrograma. Análisis de Conglomerados de las 21 especies de estudio con las variables independientes (origen, rango de altitud y rango de distribución N-S y E-O de las mismas).

Análisis de Correspondencia Canónica

- **Floración**

Las veces en que florea anualmente cada especie es la variable más cercana al eje 1 y la de mayor importancia en las especies de estudio; mientras que en el eje 2, lo es la altitud (Cuadro 1).

1

**** Weighted correlation matrix (weight = sample total) ****

SPEC AX1	1.0000		
SPEC AX2	0.0036	1.0000	
SPEC AX3	0.0519	-0.0016	1.0000
SPEC AX4	0.0195	0.0135	-0.0309
ENVI AX1	0.9167	0.0000	0.0000
ENVI AX2	0.0000	0.9517	0.0000
ENVI AX3	0.0000	0.0000	0.9446
ENVI AX4	0.0000	0.0000	0.0000
(N-S)	0.1217	0.1818	0.5207
(E-O)	0.1319	-0.2950	-0.2980
Altitud	0.3034	0.8217	-0.3094
Floraci.	0.7664	-0.4582	0.0243
Origen	-0.3167	0.2586	-0.1384
	SPEC AX1	SPEC AX2	SPEC AX3

Cuadro 1. Correlación de las variables independientes con los ejes.

Havardia Pallens (11) es la especie que se distribuye a mayor altitud y cuenta con una amplia distribución de N-S; *Citharexylum berlandieri* (5) y *Leucaena leucocephala* (13) son especies que florecen 3 veces por año; *Cercidium macrum* (4), *Prosopis laevigata* (16), *V. berlandieri* (17), *V. farnesiana* (18), *V. shaffneri* (20) y *Zanthoxylum fagara* (21) son especies que poseen una distribución amplia (km) de N-S. Mientras que *Caesalpinia mexicana* (2), *Cordia boissieri* (7), *Helietta parvifolia* (11) y *Leucaena leucocephala* (13) cuentan con un rango de distribución mayor de E-O.

En cuanto al rango de altitud, *Havardia pallens* (11) y *Prosopis laevigata* (16) son las especies que se pueden localizar en zonas de mayor altitud (Figura 2).

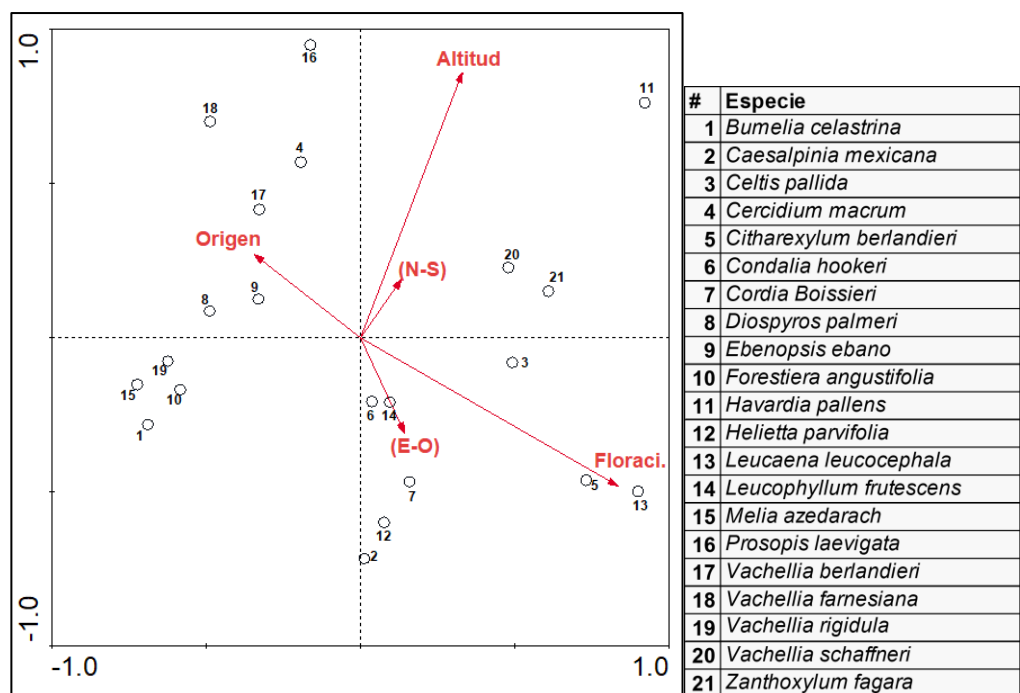


Figura 2. Análisis de correspondencia canónica de floración con las variables independientes (origen, rango de altitud y rango de distribución N-S y E-O de las mismas).

- Frutos**

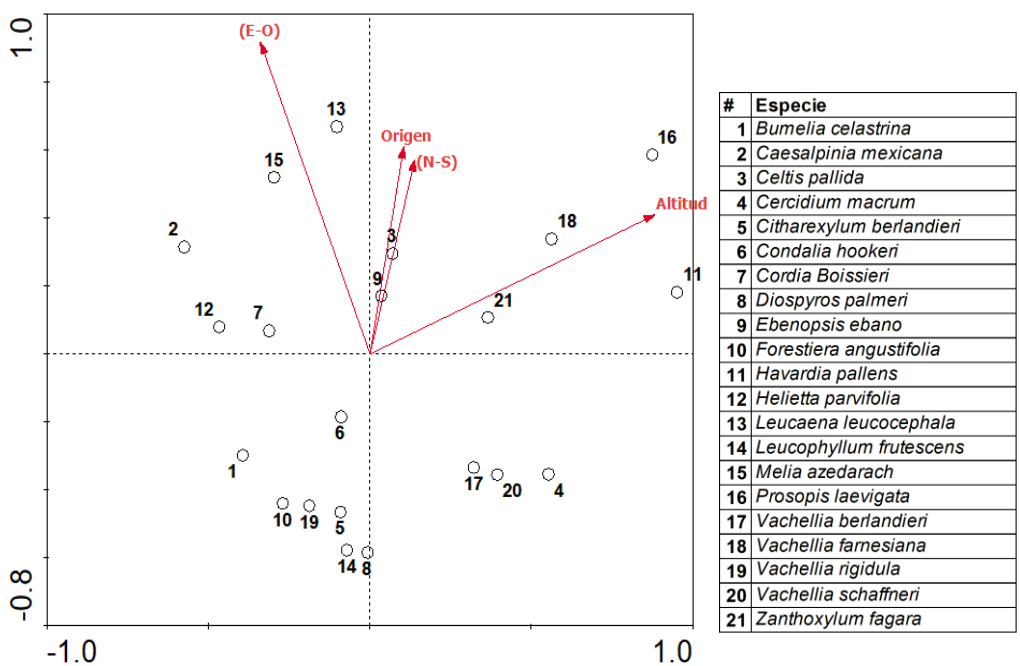


Figura 3. Plano de ordenación. Análisis de correspondencia canónica de la fructificación de las 21 especies de estudio con las variables independientes (origen, rango de altitud y rango de distribución N-S y E-O de las mismas).

Citharexylum berlandieri (5), *Condalia hookeri* (6), *Diospyros palmeri* (8), *Forestiera angustifolia* (10), *Leucophyllum frutescens* (14) y *V. rigidula* cuentan con un rango de altitud menor (msnm), que el resto de las especies.

Las especies que presentan un rango de distribución mayor E-O son *Caesalpinia mexicana* (2), *Cordia boissieri* (7), *Helietta parvifolia* (12), *Leucaena leucocephala* (13) y *Melia azederach* (15).

VIII. Discusión

Nadie discute que la fenología de las plantas puede ser un indicador sensible del cambio climático, por lo que un paso importante en esta área es la evaluación de la respuesta de las especies a estos cambios (Bertin, 2008). Los eventos climáticos podrían ser altamente perjudiciales para las especies y los efectos de cambios ambientales más sutiles han sido poco considerados, por lo que es necesario incrementar este tipo de estudios en la región (March y Fitze, 2019). Los resultados de esta tesis indican que ninguna de las especies estudiadas responde igual a los cambios climáticos, ya que para ambas fases fenológicas se obtuvo un retraso; para el caso de los frutos, solo tres especies presentaron diferencias significativas, y en la producción de flores cuatro. Diversos estudios muestran que las estaciones se están adelantando, por ende, el ciclo de fenológico de las especies vegetales también presentaría este patrón (Parmesan y Yohe, 2003), sin embargo, en ambos casos, los resultados fueron contrarios a nuestras hipótesis. El presente estudio muestra que, en el caso de las flores, dos de las cuatro especies que mostraron retraso realizan esta fenofase en primavera (*Vachellia berlandieri* y *Prosopis laevigata*), mientras que las otras dos en verano y otoño (*V. rigidula* y *Celtis pallida*). Y las tres especies que mostraron un retraso en la producción de frutos presentaban esta fenofase en primavera. Diversos autores han concluido que las fenofases de la primavera han avanzado mucho más consistentemente que las fenofases del verano o del otoño (Menzel, 2000; Defila y Clot, 2001; Walther *et al.*, 2002; Zhao y Schwartz, 2003; Dose y Menzel, 2004; Wolfe *et al.* 2005; Ahas y Aasa, 2006; Miller- Rushing *et al.*, 2007), sin embargo, esto no se muestra en todas las especies estudiadas que presentaron un retraso en su producción de flores. Para el caso de las flores, solo *Celtis pallida* está influida por la temperatura; mientras que en la fase de producción de frutos dos especies (*Leucaena leucocephala* y *Citharexylum berlandieri*). Resultados semejantes a la fenología de floración invernal del Albaricoque japonés (*Prunus mume*), la cual ha ocurrido progresivamente antes debido a la temperatura del invierno (Hideyuki Doi, 2007). Los análisis aquí presentados corresponden a un período corto que no necesariamente incluye las variaciones en temperatura y

humedad de la región, por lo que resulta necesario realizar estudios fenológicos que abarquen periodos más largos y que involucren a otras variables.

IX. Conclusiones

De las 21 especies estudiadas en los últimos 14 años ninguna está adelantando su floración ni fructificación.

Cuatro especies han retrasado su floración en los últimos 14 años (*Vachellia berlandieri*, *V. rigidula*, *Celtis pallida* y *Prosopis laevigata*).

Tres especies han retrasado la producción de frutos maduros en los últimos 14 años (*Forestiera angustifolia*, *Leucaena leucocephala* y *Citharexylum berlandieri*). Por lo que los resultados obtenidos son contrarios a nuestras hipótesis.

Las especies presentan una escasa correlación con el tiempo de producción de flores y frutos, sin embargo, muestran un retraso significativo en la presencia de las dos fases fenológicas estudiadas. Es decir, aunque mantienen una relación con las estaciones, el desfase de estas no influye en su totalidad en su fenología. Dos de las cuatro especies que presentaron un retraso en la producción de flores (*Vachellia berlandieri* y *Prosopis laevigata*), cuentan con una distribución amplia en km. de N-S, mínima de E-O y florecen dos veces anualmente.

Para el caso de la fructificación, dos de las tres especies que han atrasado esta fase fenológica (*Citharexylum berlandieri* y *Forestiera angustifolia*), cuentan con un rango de altitud (msnm) menor en comparación con las demás especies.

La distribución, el rango de altitud y las veces en que florecen por año las especies vegetales tienen un papel importante en los patrones fenológicos de las mismas.

X. BIBLIOGRAFÍA:

- Adriano, M., & Adrián, C. (2011). Fenología floral de la anacahuita (*Cordia boissieri*) y su relación con sus visitantes florales (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Aide, T. M. (1992). Dry season leaf production: an escape from herbivory. *Biotropica* 24: 532-537.
- Alanís, E., J. Jiménez, O.A. Aguirre, J.E. Treviño, E. Jurado y M.A. González (2008). Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. *Ciencia UANL* 11: 56-62.
- Alvarado Vázquez, M. A. (2003). Análisis fenológico y algunos aspectos reproductivos en especies selectas del matorral Xerófilo del noreste de México (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Arreola Alcalá, G. D. J. (1991). Estudio fenológico del Brasil (*Condalia Hookeri* MC Johnst) en cuatro municipios del estado de Nuevo León, en 1989.
- Bello, G. M. (1983). Estudio fenológico de cinco especies de *Pinus* en la región de Uruapan, Mich. Subsecretaría Forestal, Instituto nacional de investigaciones forestales (SARH), Boletín Técnico No. 96, Méx. D.F. 55 p.
- Bertin, R. I. (2008). Plant phenology and distribution in relation to recent climate change. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 135(1), 126-146.
- Bradley, N.L., A.C. Leopold, J. Ross and W. Huffaker. (1999). Phenological changes reflect climate change in Wisconsin. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96: 9701-9704.
- Burton T, Metcalfe NB. 2014. Can environmental conditions experienced in early life influence future generations? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 281(1785):20140311 DOI 10.1098/rspb.2014.0311.
- Borchert, R. (1992). Computer simulation of tree growth periodicity climatic hidroperiodicity in tropical forest. *Biotropica* 24: 385-395, 1992
- Cam E, Monnat J-Y, Hines JE. (2003). Long-term fitness consequences of early conditions in the kittiwake. *Journal of Animal Ecology* 72(3):411–424 DOI 10.1046/j.1365-2656.2003.00708. x.

- Cantú Ayala, C., & Reid, N. (1991). Fruit Production. Phenology and Seed Dispersal Patterns in.
- Challenger, A. (1998). Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado presente y futuro (No. 581.5 C44Y). p. 847.
- Diamond, D. D., Riskind, D. H., & Orzell, S. L. (1987). A framework for plant community classification and conservation in Texas. *The Texas Journal of Science*.
- Friedel, M.H., D.J. Nelson, A.D. Sparrow, J.E. Kinloch and J.R. Maconochie. (1994). Flowering and Fruiting of Arid Zone Species of Acacia in Central Australia. *Journal of Arid Environments* 27.221-239.
- Foroughbakhch, R., J.L. Hernández-Piñero, M.A. AlvaradoVázquez, E. Céspedes-Cabriales, A. Rocha-Estrada y M.L. Cárdenas-Ávila (2009). Leaf biomass determination on woody shrub species in semiarid zones. *Agroforestry System* 77: 181– 192.
- González, M. (1985). El límite sur de la provincia biótica tamaulipeca. In *II Simposio Internacional sobre la Provincia Biótica Tamaulipeca UAT-UNAM* (Vol. 7).
- Harper, J. L. (1977). *Population biology of plants*. Academic Press, Oxford.
- Harvey, P. H. & M. D. Pagel. (1995). *The Comparative Method in Evolutionary Biology*. Oxford University Press, USA.
- Heiseke, D. y R. Foroughbakhch (1985). El matorral como recurso forestal. Reporte científico No. 1. Facultad de Silvicultura y Manejo de Recursos Renovables. Universidad Autónoma de Nuevo León. 31 p.
- Hernández, J. G., & Ybarra, E. J. (2008). Caracterización del matorral con condiciones prístinas en Linares NL, México. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 4(1), 1-22.
- Hopp, R. J. (1974). Plant phenology observation networks. Pp. 25-43 en H. Lieth, editor. *Phenology and Seasonality Modeling*. Springer- Verlag, USA.
- Jonsson B, Jonsson N. (2014). Early environment influences later performance in fishes. *Journal of Fish Biology* 85(2):151–188 DOI 10.1111/jfb.12432.

- Jurado, E., & Reid, N. (1989). Influencia de factores edáficos, topográficos y perturbaciones sobre el matorral espinoso tamaulipeco en Linares NL (Reporte Científico No. 10). Linares, Nuevo Leon, México: Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales.
- Kumar, S., Stecher, G., Suleski, M., & Hedges, S. B. (2017). TimeTree: a resource for timelines, timetrees, and divergence times. *Molecular biology and evolution*, 34(7), 1812-1819, DOI: 10.1093/molbev/msx116.
- Kramer, P.J. Water relations of plants. Academic Press, Inc., San Diego, California, USA, (1983). Adaptación a la sequía de plantas arbustivas de matorral espinoso tamaulipeco ciencia uanl / vol. Iv, no. 4, octubre-diciembre 2001 461 pp.390-415. 5.
- Krebs, J. C. (1985). Estudio de la distribución y abundancia. *Ecología*. Editorial HARLA, p. 753.
- Kozlowski, T.T. and Pallardy, S.G. (1997). *Physiology of woody plants*. Academic Press, Inc., San Diego, California, USA, 2nd ed., pp.269-308.
- Lieth, H. 1974. *Phenology and Seasonality Modeling*. Springer- Verlag, USA.
- Linnaeus, C. (1751). *Philosophia botanica in qua explicantur fundamenta botanica*. Godofr. Kiesewetter, Stockholm, Sweden
- Loubry, D. (1994). La phénologie des arbres caducifoliés en foret guyanaise (50 de latitude nord): illustration d'un déterrninisme a composantes endogene et exogene. *Canadian Journal of Botany* 72:1843-1857.
- Marco, D.E., A.A. Calviño and Sergio Páez. (2000). Patterns of Flowering and Fruiting in Papulations of *Larrea divaricata* in Dry Chaco (Argentina). *Journal of Arid Environments* 44:327-346.
- Menzel, A. (2000). Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *International Journal of Biometeorology* 44: 76-81.
- Monasterio, M. and Sarmiento, G. (1976). Phenological strategies of plants species in the tropical savanna and semideciduous forest of Venezuelan Llanos J. Biog. 3: 325-356.
- Montenegro, G. y R. Ginocchio. (1999). La fenomorfología y su expresión a través del crecimiento modular en las plantas leñosas perennes. En R. Orellana,

- J.A. Escamilla y A. Larqué Saavedra (editores). *Ecofisiología vegetal y conservación de recursos genéticos*. CICY, Mérida, Yucatán, México.
- Mora, C.A., E. Alanís, J. Jiménez, M.A. González, J.I. Yerena y L.G. Cuellar (2013). Estructura, composición florística y diversidad del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Ecología Aplicada* 12: 29-34.
- Parmesan, Camille & Yohe, Gary. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*. 421. 37-42. 10.1038/nature01286.
- Peñuelas, J., I. Filella y P. Comas. (2002). Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology* 8: 531-544.
- Ruano, F., & Tinaut, A. (2002). Biodiversidad, clasificación y filogenia. *Evolución: La base de la biología* (1. a ed., pp. 293-306).
- Schwartz, M. D. (1999). Advancing to full bloom: planning phenological research for the 21st century. *International Journal of Biometeorology*, 42(3), 113-118.
- Sparks, T. H. and A. Menzel. (2002). Observed changes in seasons: an overview. *Int. J. Climatol* 22:1715–1725. Crossref, Google Scholar
- SPP–INEGI. (1986). *Síntesis geográfica del Estado de Nuevo León*. Secretaría de Programación y Presupuesto. Instituto Nacional de Información Estadística y Geográfica, México
- Stiles, F. G. (1978). Temporal organization of flowering among the hummingbird food plants of a tropical wet forest. *Biotropica* 10:194-210.
- Thomas CD, Cameron A, Green RE, Bakkenes M, Beaumont LJ, Collingham YC, Erasmus BFN de Siqueira MF, Grainger A, Hannah L, Hughes L, Huntley B, van Jaarsveld AS, Midgley GF, Miles L, Ortega-Huerta MA, Townsend Peterson A, Phillips OL, Williams SE. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature* 427(6970):145–148 DOI 10.1038/nature02121.
- US/IBP Phenology Committee. (1972). Report of the US/IBP Phenology Committee. Environmental Programs Coordinating Office. U.S.

Component of the International Biological Program Washington, D.C., USA.

- Van Schaik, C. P., J. W. Terborgh, & S. J. Wright. (1993). The phenology of tropical forests: adaptive significance and consequences for primary consumers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 24: 353-377.
- Villasana, A., Roberto, A., & de Giménez, A. S. (1997). Estudio fenológico de dieciseis especies forestales presentes en la Reserva Forestal IMATACA, Edo. Bolívar-Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 41(4):13-21.
- Walck JL, Hidayati SN, Dixon KW, Thompsons K, Poschlod P. (2011). Climate change and plant regeneration from seed. *Global Change Biology* 17(6):2145–2161 DOI 10.1111/j.1365-2486.2010.02368. x.
- Wright, S. J & O. Calderón. (1995). Phylogenetic patterns among tropical flowering phenologies. *Journal of Ecology* 83: 937-948.

Apéndice I

Descripción de las especies de flora registradas en el área de estudio

1. *Bumelia celastrina*

Nombre común: Coma

Es originaria de América del Norte (Texas y Florida), cuenta con un rango de distribución de 4,914 km de N-S y 6,031 km de E-O. Especie que presenta hojas la mayor parte del año, florece en los meses de julio-enero y octubre-diciembre. Sus frutos se dan en los meses de mayo-junio y algunos años en septiembre.

2. *Caesalpinia mexicana*

Nombre común: Potro

Originaria de América central (México, Texas), se encuentra en altitudes hasta los 1,800 msnm y posee una distribución de 12,923 km (N-S) y 15,157 km (E-O). Su follaje se ausenta en invierno, la producción de flores va de marzo-mayo y de agosto-septiembre, sus frutos se dan de mayo a octubre.



3. *Celtis pallida*

Nombre común: Granjeno

Especie que cuenta con un rango de altitud de 1800 msnm. Se distribuye de 4,027 km (N-S) a 11,005 km (E-O). En los meses de mayo-diciembre posee la mayor producción de hojas, sus flores se dan de abril-junio y en septiembre. Fructifica de junio-septiembre y en el mes de diciembre.



4. *Cercidium macrum*

Nombre común: Palo verde

Especie originaria de América del Norte, se encuentra a una altitud que va de los 150-1000 msnm. Su distribución es de 18,317 km de N-S y 4,379 km de E-O. Sus hojas caen en invierno, las flores se producen de abril a junio y sus frutos de mayo a septiembre.

5. *Citharexylum berlandieri*

Nombre común: Árbol del pollo

Originaria de América Central (Valle del Río Grande de Texas y noreste de México hasta el sur de Oaxaca) Se distribuye a una altitud de 370 msnm. Su distribución oscila en los 2,992 km N-S y 2,712 km EO. Sus hojas caen en febrero y mayo, produce flores de mayo-septiembre y algunos años en enero y noviembre. Fructifica en enero, marzo, junio y agosto.



6. *Condalia hookeri*

Nombre común: Brasil

Especie originaria del Suroeste de América del Norte, se encuentra a una altitud que va de los 400 a los 1000 msnm. Se distribuye a 3,974 km de N-S y 5,464 km

de E-O. Presenta hojas la mayor parte del año, florece en los meses de mayo-julio y septiembre-octubre. Sus frutos se dan de julio a diciembre.



7. *Cordia boissieri*

Nombre común: Anacahuita

Originaria de América del Norte, especie con un rango de altitud de 300 msnm y una distribución de 10,743 km N-S y 11,959 km E-O. Presenta hojas la mayor parte del año, sus hojas caen en los meses de enero-marzo, florece de marzo a julio y de octubre a diciembre. Fructifica en junio, agosto, septiembre y noviembre.



8. *Diospyros palmeri*

Nombre común: Chapote blanco

Especie que se distribuye de los 650 a 1050 msnm. Posee una distribución de 2,034 km N-S y 1,644 km E-O. Presenta follaje la mayor parte del año, la menor cantidad se da en febrero. La producción de flores es una vez por año, de marzo a mayo y sus frutos de julio a septiembre y noviembre.

9. *Ebenopsis ebano*

Nombre común: Ébano

Originaria del Norte de la planicie del Golfo de México, esta especie se encuentra en los 1000 msnm. Su distribución es de 7,860 km de N-S y 10,614 km E-O. Presenta hojas todo el año, la cantidad varía según los meses; su producción de flores es en los meses de mayo, junio y septiembre; los frutos se dan en junio y de agosto a octubre.



10. *Forestiera angustifolia*

Nombre común: Panalero

Especie que se encuentra a una altitud de 1900-2000 msnm. Su distribución es de 3,675 km de NS- y 4,163 km E-O. Esta especie no presenta hojas todo el año, la producción de flores varía según el año, se da de enero a mayo y sus frutos de abril a junio.

11. *Havardia pallens*

Nombre común: Tenaza

Su distribución es de 5,671 km de N-S y 6,633 km de E-O. Está presente en una altitud hasta los 2,500 msnm. Presenta hojas la mayor parte del año a excepción de enero-abril. Sus flores se presentan en agosto-septiembre y sus frutos de septiembre-enero y en marzo.



12. *Helietta parvifolia*

Nombre común: Barreta

Especie originaria del Noreste de México, cuenta con un rango de altitud de 180 msnm. Su distribución, en km, es de 6,520 N-S y de 11,049 de E-O. Presenta hojas la mayor parte del año, varía según el año. Sus flores se dan de junio a septiembre y algunos años en octubre; los frutos pueden aparecer de enero a agosto.

13. *Leucaena leucocephala*

Nombre común: Dormilón

Especie originaria de América Tropical (México, Yucatán), presente en altitudes que van de los 0 a 900 msnm. Su distribución es de 16,579 km de N-S y 17,981 km E-O. En invierno no presenta hojas, sus flores se producen en mayo y en septiembre-octubre. Los frutos se dan de junio-agosto y algunas ocasiones en noviembre.

14. *Leucophyllum frutescens*

Nombre común: Cenizo

Originaria de América del Norte (Texas y México), es una especie que cuenta con un rango de altitud de 300 msnm. Su rango de distribución es de 2,951 km N-S y 1,321 km E-O. Presenta hojas la mayor parte del año a excepción de febrero-abril. Florece de mayo-julio y en septiembre, sus frutos se dan de agosto-diciembre.



15. *Melia azedarach*

Nombre común: Canelón

Originaria del Sur y este de Asia, especie que se encuentra a una altitud que va de los 300 a los 1100 msnm. Alcanza un rango de distribución en km de 7,490 km N-S y Follaje ausente en invierno (diciembre-enero), el resto del año presenta hojas. La floración se da en el mes de abril y mayo; la fructificación de agosto a noviembre.

16. *Prosopis laevigata*

Nombre común: Mezquite

Originaria de África, es una especie que se encuentra a una altitud que va de los 0 - 2,300 msnm. Su rango de distribución N-S es de 16,477 km y 11,322 km E-O. Sus hojas caen en el mes de febrero, el resto del año tiene hojas. Sus flores maduran van de marzo a mayo y sus frutos de junio a julio, algunos años en el mes de septiembre.

17. *Vachellia berlandieri*

Nombre común: Guajillo

Especie originaria del Sudoeste de Estados Unidos y noreste de México, se encuentra en altitudes de 360-1,500 msnm. Cuenta con un rango de distribución de 2,630 km N-S y 2,350 km E-O. Su follaje está presente la mayor parte del año, a excepción del invierno. Su producción de flores se da de marzo a mayo, y sus frutos de junio a septiembre.

18. *Vachellia farnesiana*

Nombre común: Huizache

Originaria de América del Sur (Venezuela, Colombia y Panamá), es una especie presente en altitudes que van de los 600-2,600 msnm. Posee una distribución de 5,323 km N-S y 7,570 km E-O. Cuenta con hojas la mayor parte del año, florece en los meses de enero-abril y sus frutos se presentan de junio-septiembre.



19. *Vachellia rigidula*

Nombre común: Chaparro prieto

Originaria de América del Norte (Texas y noreste de México). Cuenta con un rango de altitud de 250 msnm. Su distribución abarca 2,412 km de N-S y 3,303 km E-O. El mayor porcentaje de follaje se extiende de abril a noviembre, florece de abril-junio y fructifica de junio-agosto.



20. *Vachellia schaffneri*

Nombre común: Huizache chino

Especie de origen incierto, cuenta con un rango de altitud de 1200 msnm. Posee un rango de distribución de 3,317 km N-S y 2,238 km E-O. Sus hojas caen en invierno, el resto del año presentan hojas; sus flores se dan a finales de marzo y algunos años en octubre; la producción de frutos va de agosto a octubre.

21. *Zanthoxylum fagara*

Nombre común: Colima

Especie que se encuentra presente en altitudes que van de los 100–1,200 msnm. Su distribución es de 16,248 km N-S y 10,414 km E-O. Presenta hojas la mayor

parte del año, sus flores se dan de marzo-junio. Fructifica de septiembre-noviembre, algunos años se extiende hasta febrero.



Apéndice II.

Filogenia de las especies de estudio

		MILLONES DE AÑOS (MYA)															
Especie	V. schaffneri	E. ebano	C. mexicana	V. farnesiana	P. laevigata	V. berlandieri	V. rigidula	H. pallens	Z. fagara	H. parvifolia	C. berlandieri	S. celastrinum	M. azedarach	L. frutescens	F. angustifolia	C. boissieri	
L. leucocephala	51.0	51.0	66.0	51.0	47.0	51.0	51.0	51.0	106.0	106.0	117.0	117.0	106.0	117.0	117.0	117.0	
V. schaffneri		29.8	66.0	6.3	51.0	27.1	12.2	29.8	106.0	106.0	117.0	117.0	106.0	117.0	117.0	117.0	
E. ebano			66.0	29.8	51.0	29.8	29.8	5.1	106.0	106.0	117.0	117.0	106.0	117.0	117.0	117.0	
C. mexicana				66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	106.0	106.0	117.0	117.0	106.0	117.0	117.0	117.0	
V. farnesiana					51.0	27.1	12.2	29.8	106.0	106.0	117.0	117.0	106.0	117.0	117.0	117.0	
P. laevigata						51.0	51.0	51.0	106.0	106.0	117.0	117.0	106.0	117.0	117.0	117.0	
V. berlandieri							27.1	29.8	106.0	106.0	117.0	117.0	106.0	117.0	117.0	117.0	
V. rigidula								29.8	106.0	106.0	117.0	117.0	106.0	117.0	117.0	117.0	
H. pallens									106.0	106.0	117.0	117.0	106.0	117.0	117.0	117.0	
Z. fagara											117.0	117.0	81.0	117.0	117.0	117.0	
H. parvifolia											117.0	117.0	81.0	117.0	117.0	117.0	
C. berlandieri												108.0	117.0	64.0	81.0	85.0	
S. celastrinum													117.0	108.0	108.0	108.0	
M. azedarach														117.0	117.0	117.0	
L. frutescens															81.0	85.0	
F. angustifolia																85.0	

Tabla 4. Filogenia. Millones de años de divergencia entre las especies de estudio (Kumar et al, 2017).